



INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

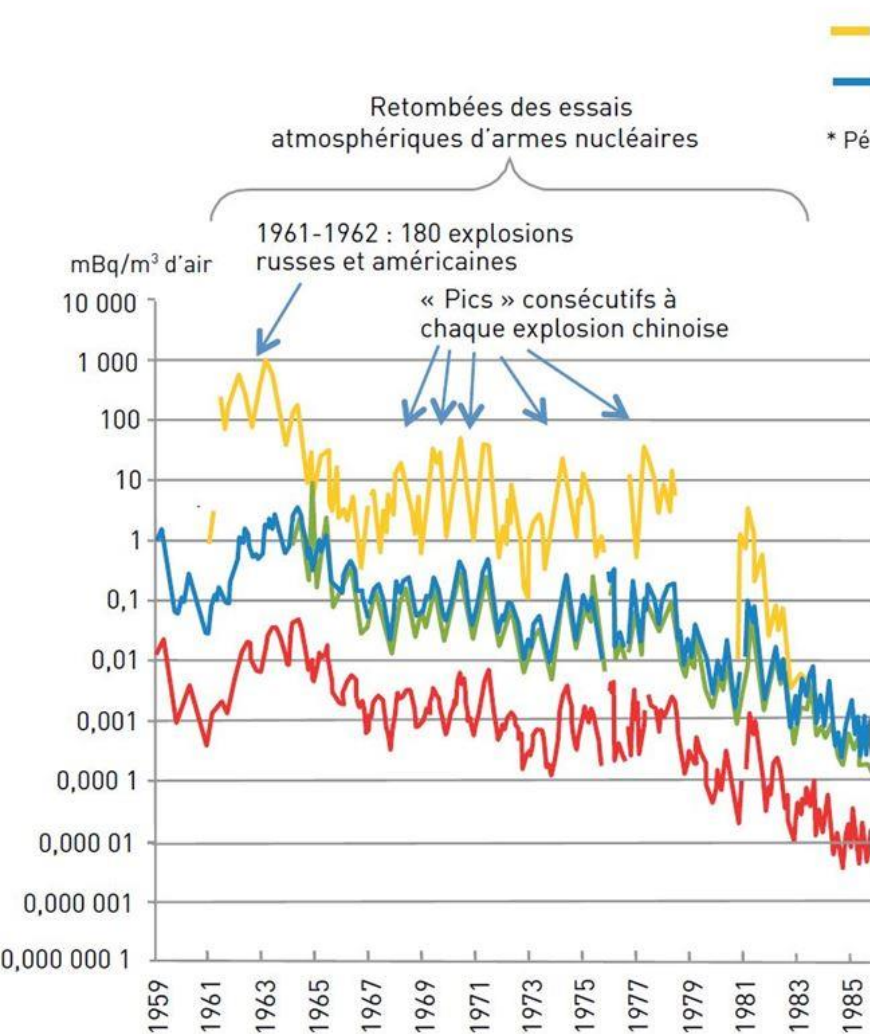
Evolution de la radioactivité de l'air en France au cours des 70 dernières années

Philippe Renaud , Olivier Masson

IRSN/Pôle radioprotection/Direction de l'Environnement

Activités atmosphériques particulières

L'époque des essais atmosphériques d'armes nucléaires



■ Périodes < 3 ans* } Source IRSN
■ ¹³⁷Cs }
■ ⁹⁰Sr } Source : H. Wershofen, D. Arnold
■ ²³⁹⁺²⁴⁰Pu }

* Périodes < 3 ans : ¹³¹I, ¹⁴⁰Ba, ¹⁴¹Ce, ¹⁰³Ru, ⁸⁹Sr, ⁹¹Y, ⁹⁵Zr, ¹⁴⁴Ce, ⁵⁴Mn, ¹⁰⁶Ru, ⁵⁵Fe, ¹²⁵Sb

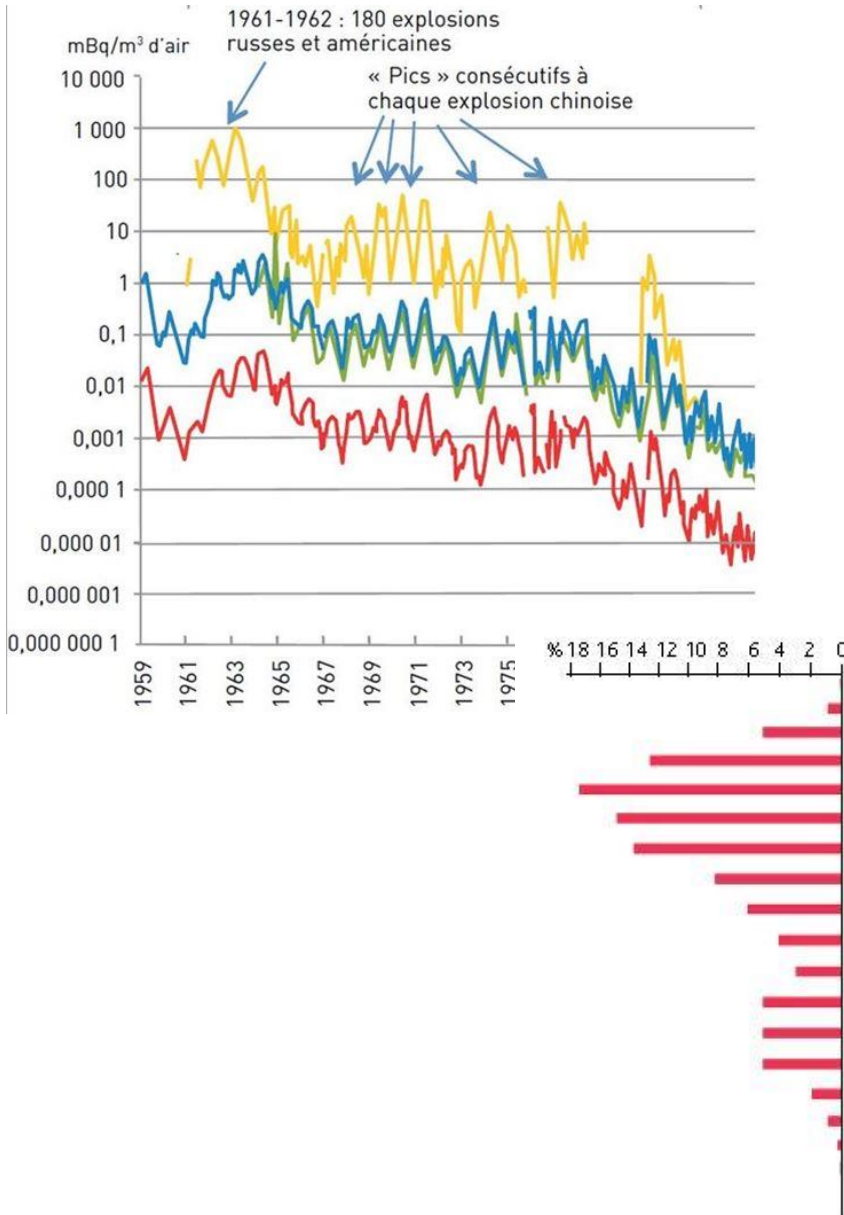
- La gamme de latitudes de la France métropolitaine (40-50° de latitude Nord) a été la plus touchée par les retombées troposphériques (sites d'essais principalement dans l'hémisphère nord)



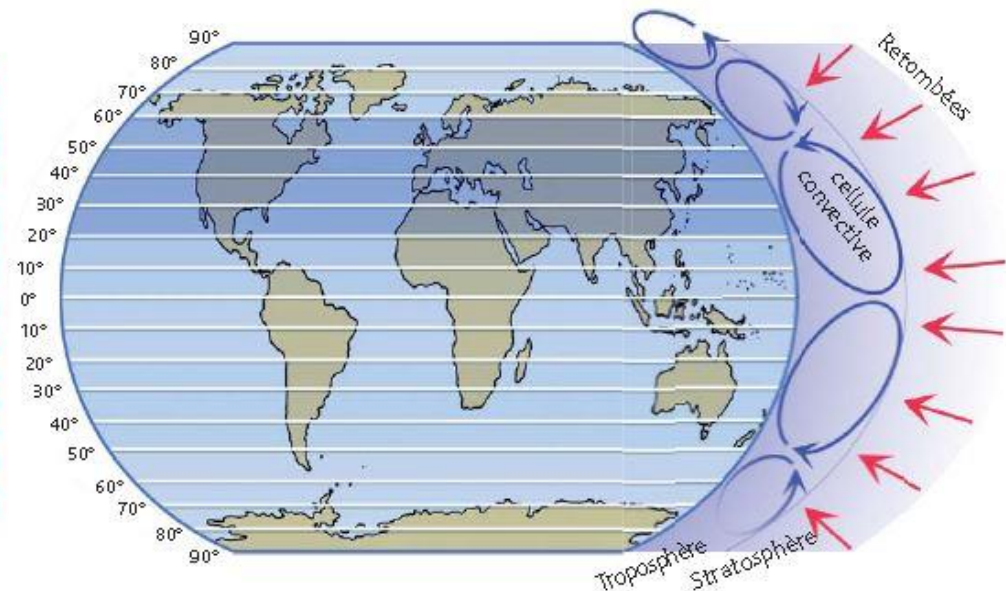
Progression du nuage radioactif troposphérique consécutif
au tir chinois du 16 octobre 1980

Activités atmosphériques particulières

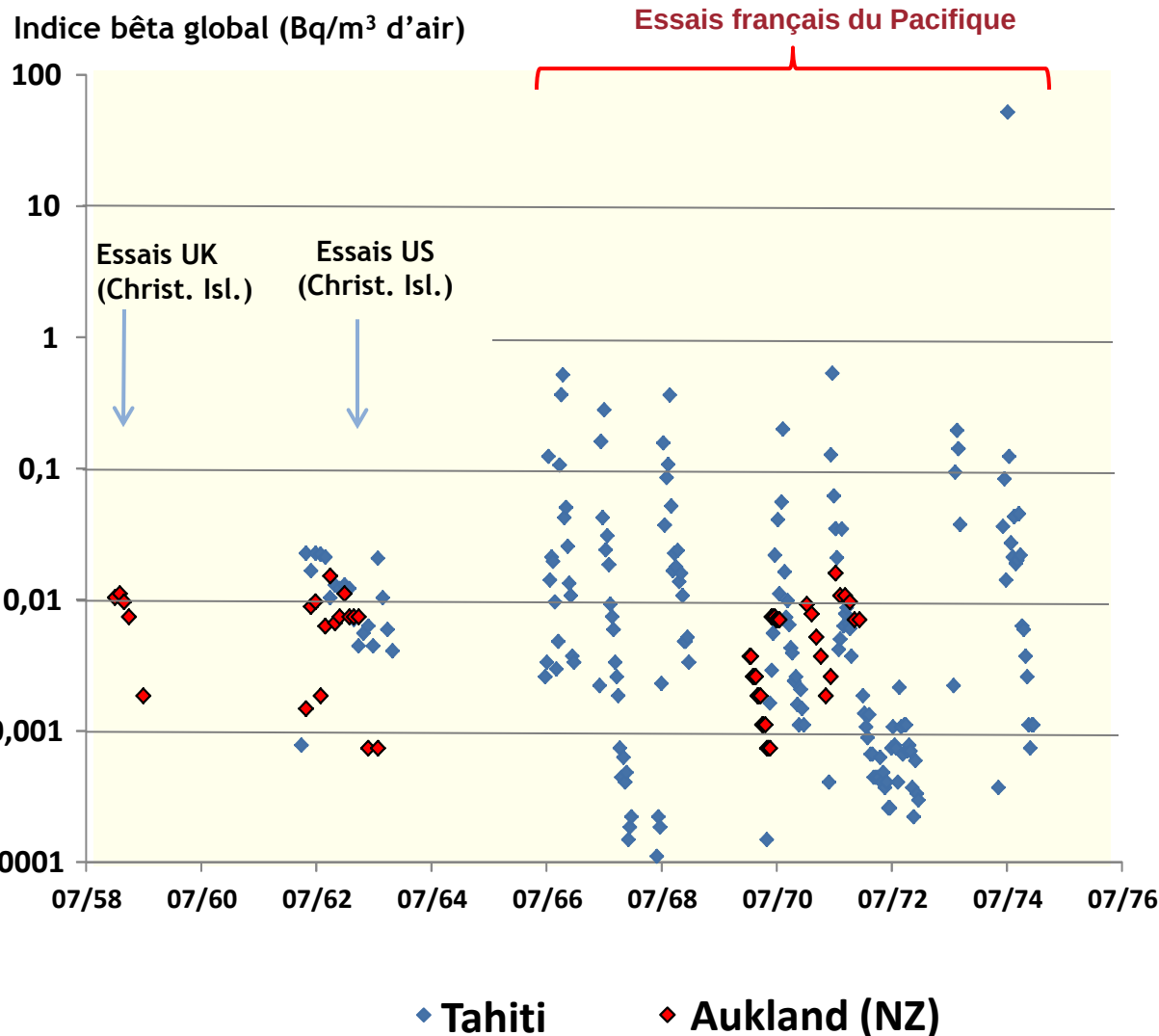
L'époque des essais nucléaires



- La gamme de latitudes de la France métropolitaine (40-50° de latitude Nord) a été la aussi plus touchées par les retombées stratosphériques du fait des cellules convectives



L'époque des essais nucléaires dans le Pacifique sud



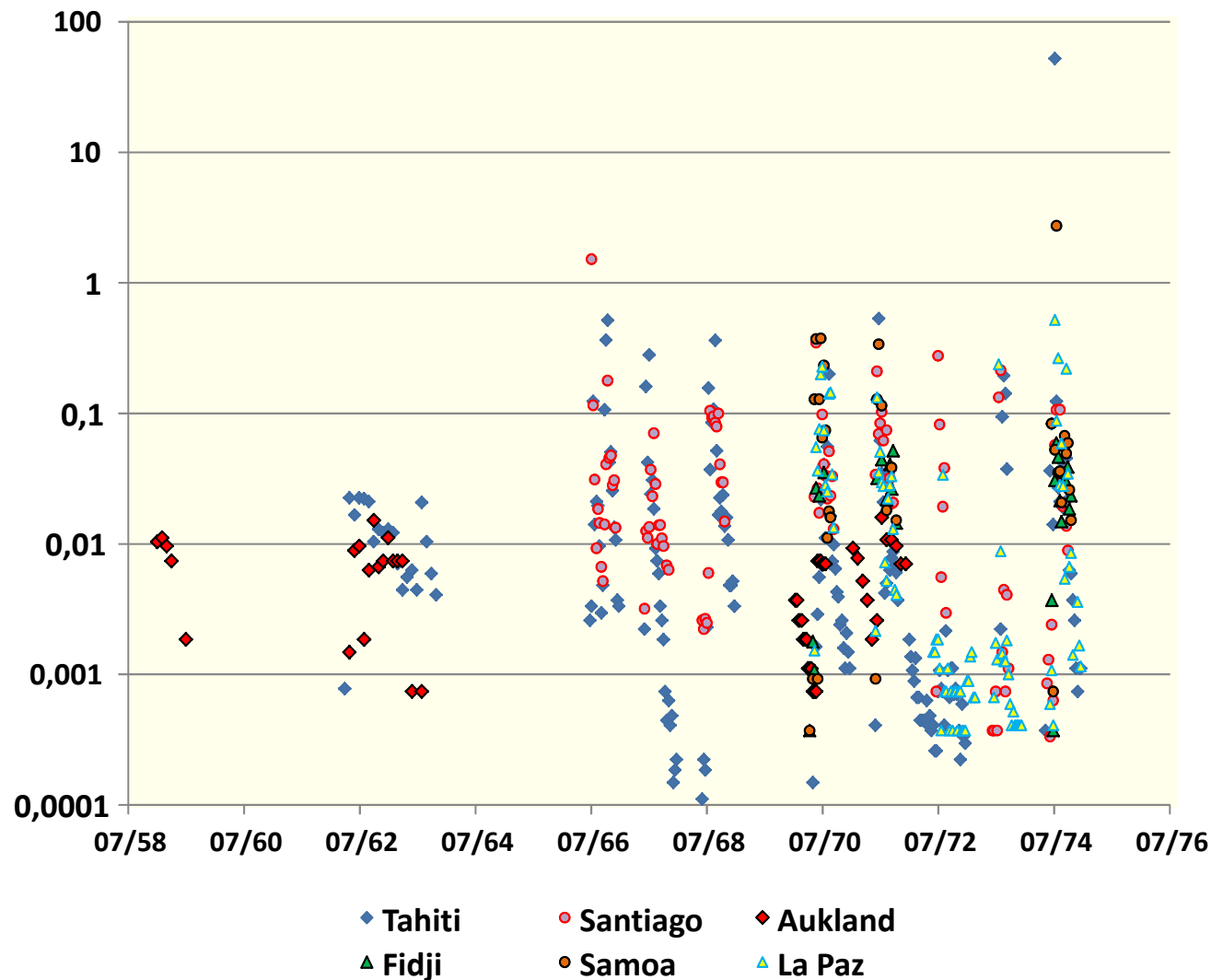
En Polynésie française, comme en métropole, des « bouffées » d'activités dans l'air consécutives aux essais

- britanniques (1958-1959)
- américains (1962)
- français (1966-1974)

Essentiellement liées aux retombées troposphériques car les retombées stratosphériques sont « déviées » vers le Nord ou le Sud par les cellules convectives

L'époque des essais nucléaires dans le Pacifique sud

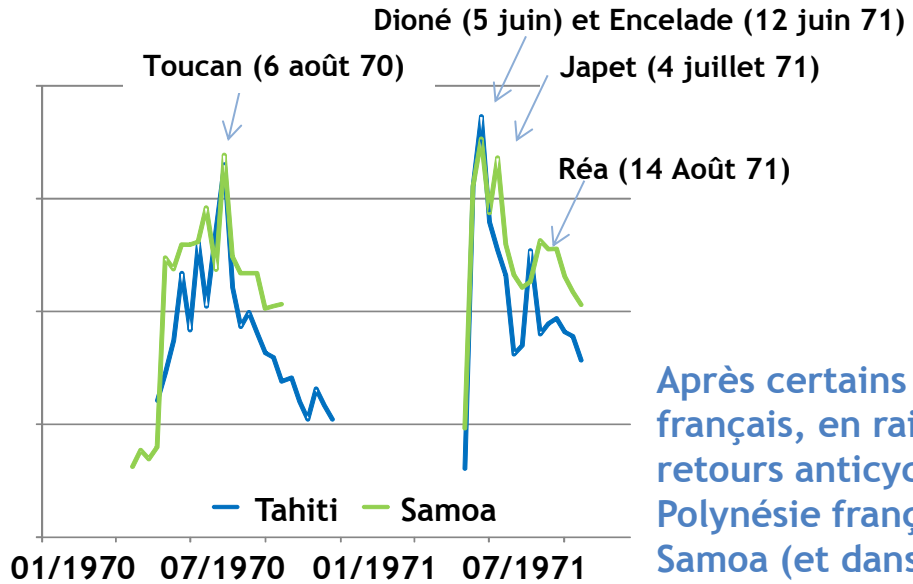
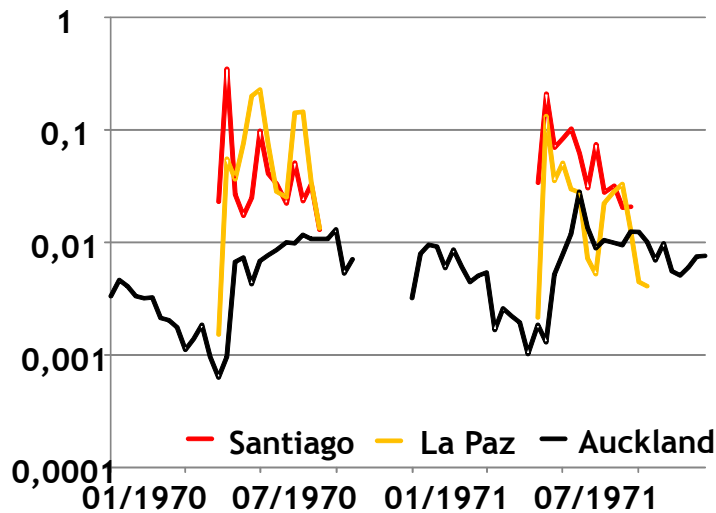
Indice bêta global de l'air (Bq/m³)



- Excepté celles de l'essai CENTAURE (1974), les retombées des essais français sur Tahiti ont été du même ordre que sur Santiago, La Paz ou les îles Samoa
- Elles ont été légèrement inférieures sur les îles Fidji et Wallis&Futuna
- Certains essais français n'ont pas donné de retombées troposphériques sur Tahiti et ont concerné seulement l'Amérique du Sud

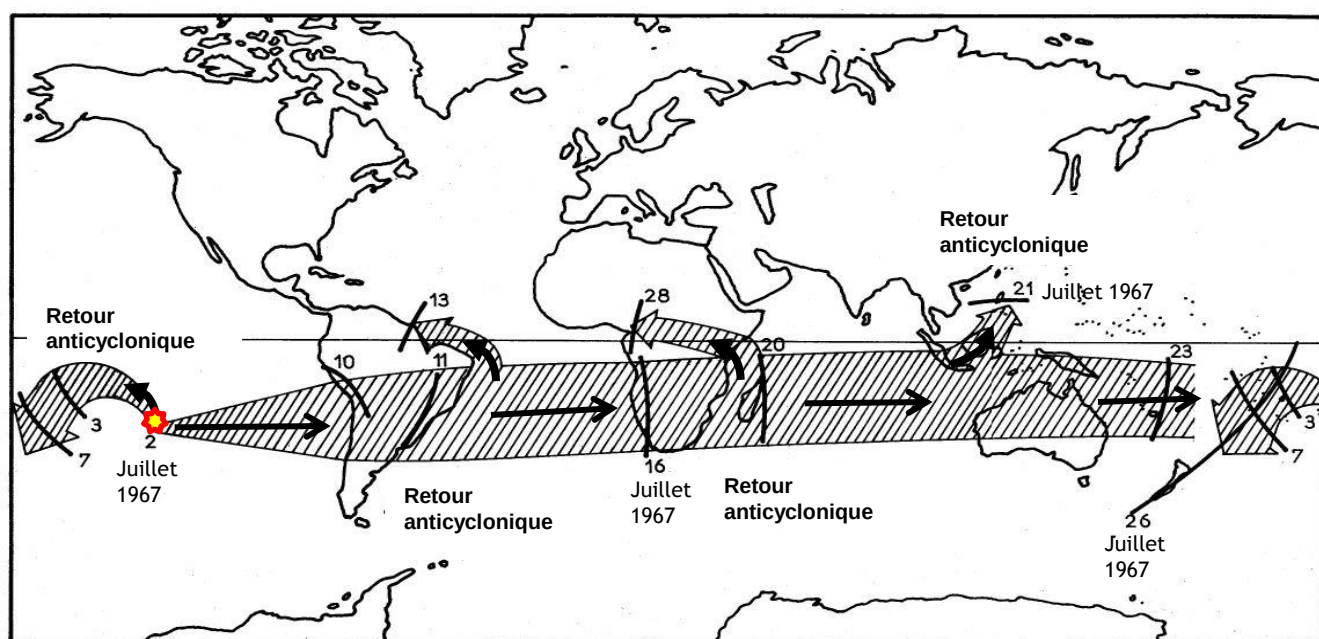
L'époque des essais nucléaires dans le Pacifique sud

Indice bêta global de l'air (Bq/m³)



Après certains essais français, en raison de retours anticycloniques, La Polynésie française et Samoa (et dans une moindre mesure les îles Fidji et Wallis & Futuna) ont été plus touchées que l'Amérique du Sud

Après un tour du globe, le panache radioactif était fortement appauvri en arrivant sur La Réunion et Auckland

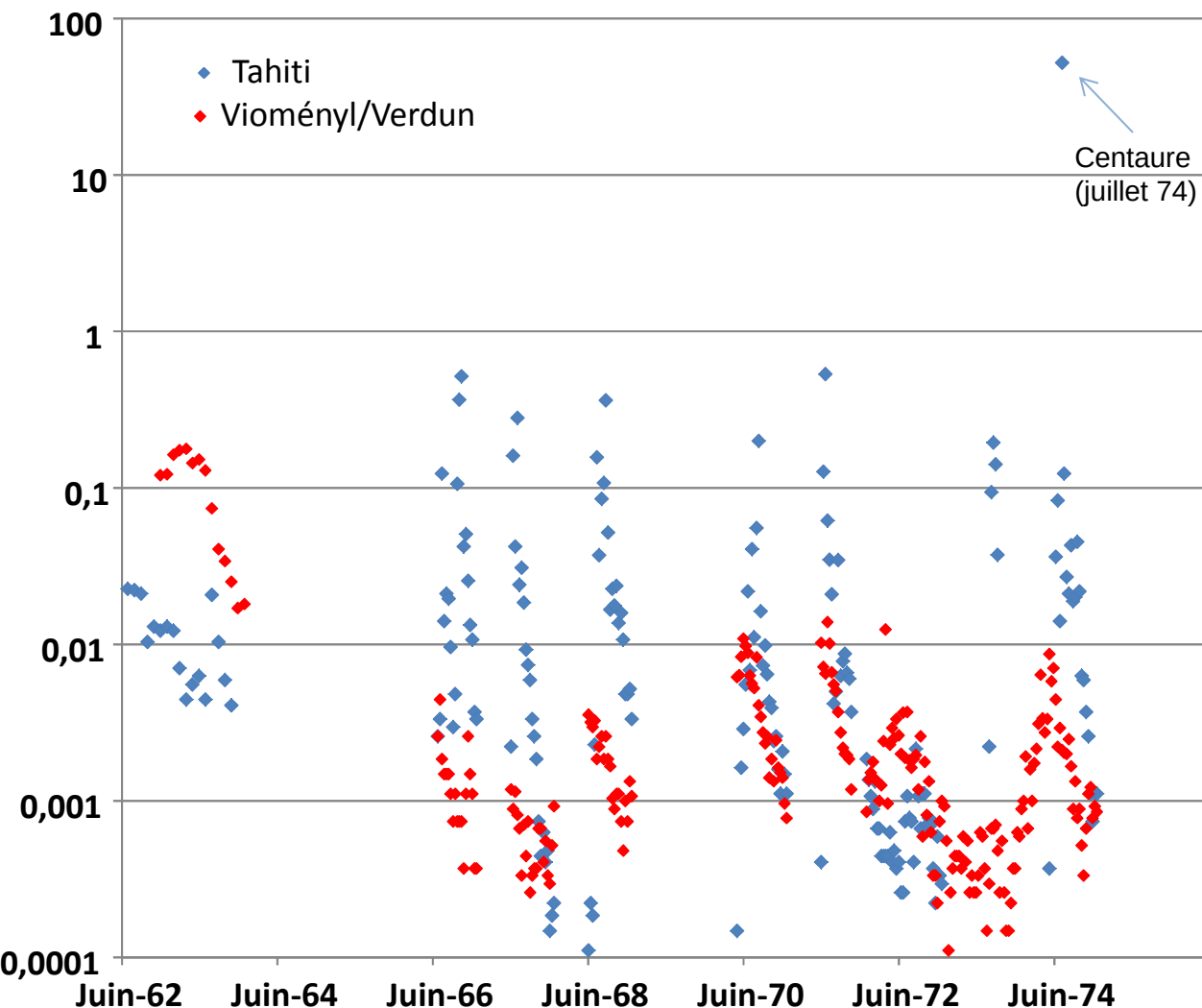


Progression du nuage radioactif troposphérique consécutif au tir Arcturus du 2 juillet 1967 sur Mururoa

L'époque des essais nucléaires

Comparaison Polynésie vs métropole

Indice bêta global de l'air (Bq/m³)



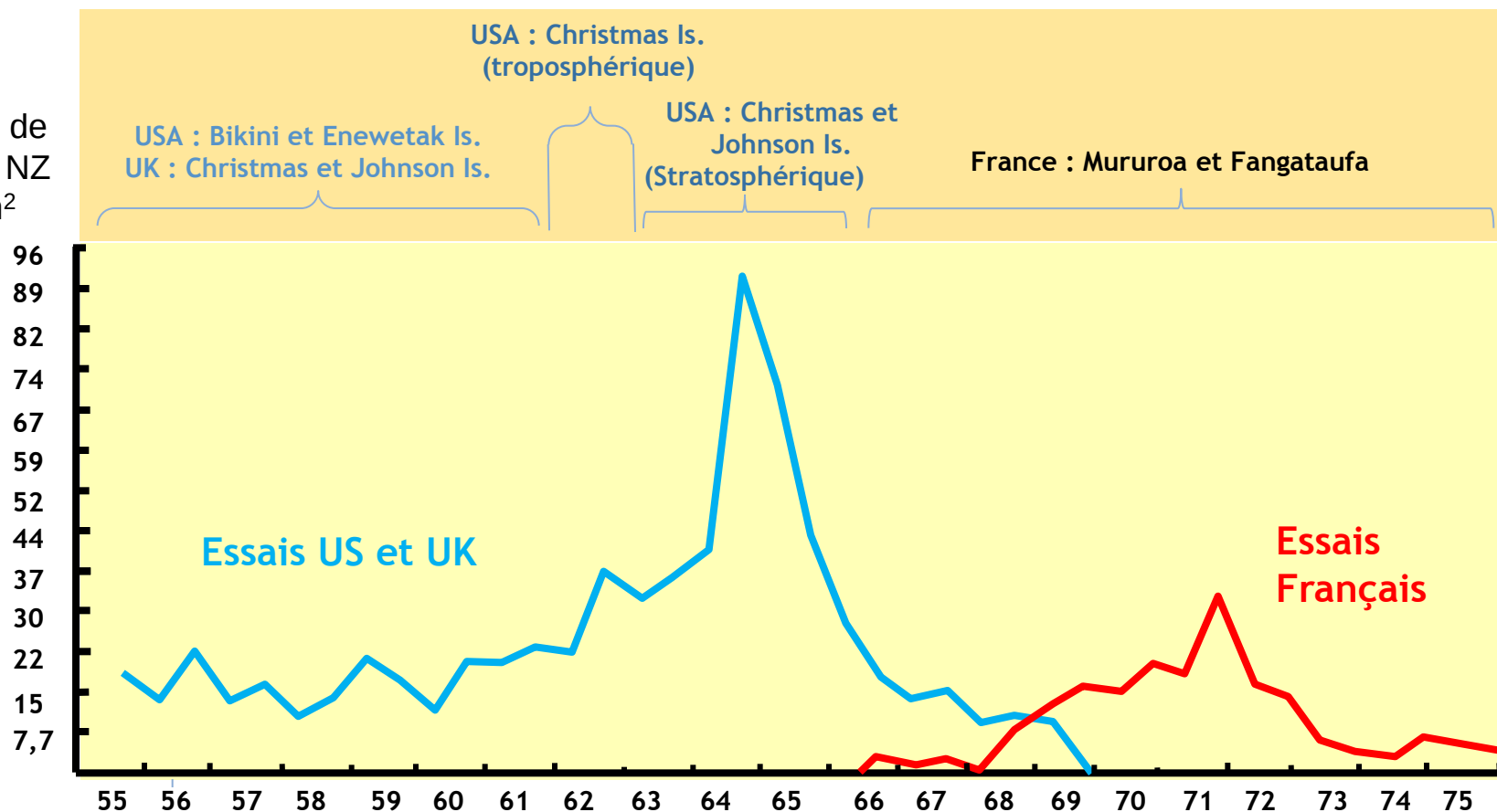
Toujours à l'exception de l'essai Centaure qui a généré des activités dans l'air 100 fois supérieures, les retours anticycloniques ont conduit à des retombées sur Tahiti du même ordre que celles sur la France métropolitaine au cours des années 1962-1963.

Toutefois, si les « bouffées » sur la Polynésie ont été brèves et espacées, les activités en métropoles durant les années 61-62 ont été entretenues de manière quasi permanente à ces niveaux en raison du nombre important (180) et de la puissance des explosions.

L'époque des essais nucléaires dans le Pacifique sud

Retombées des essais français vs US et UK en Nouvelle-Zélande

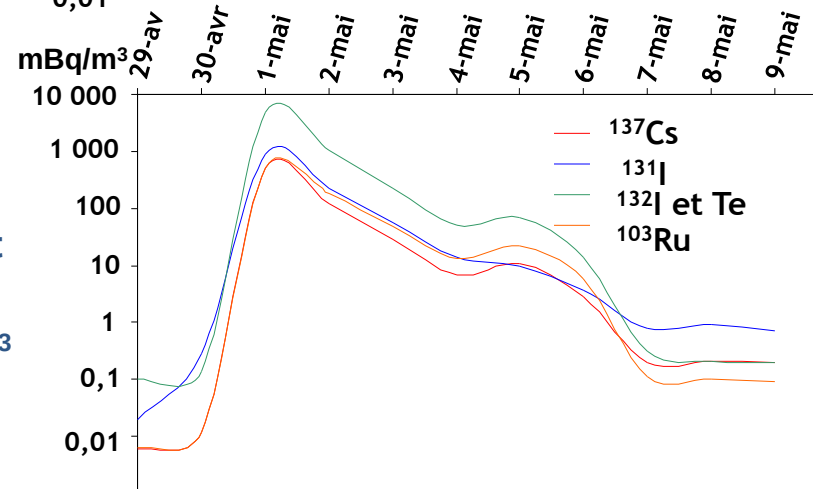
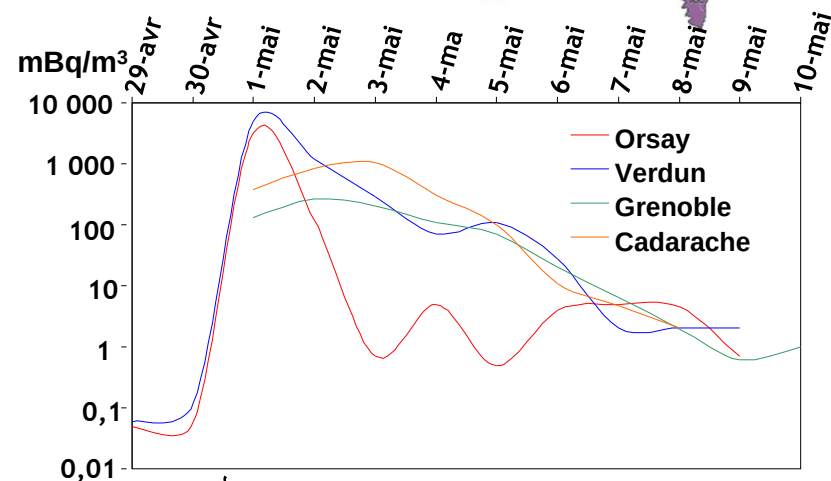
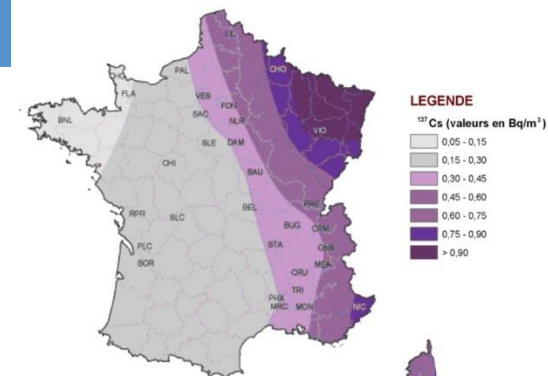
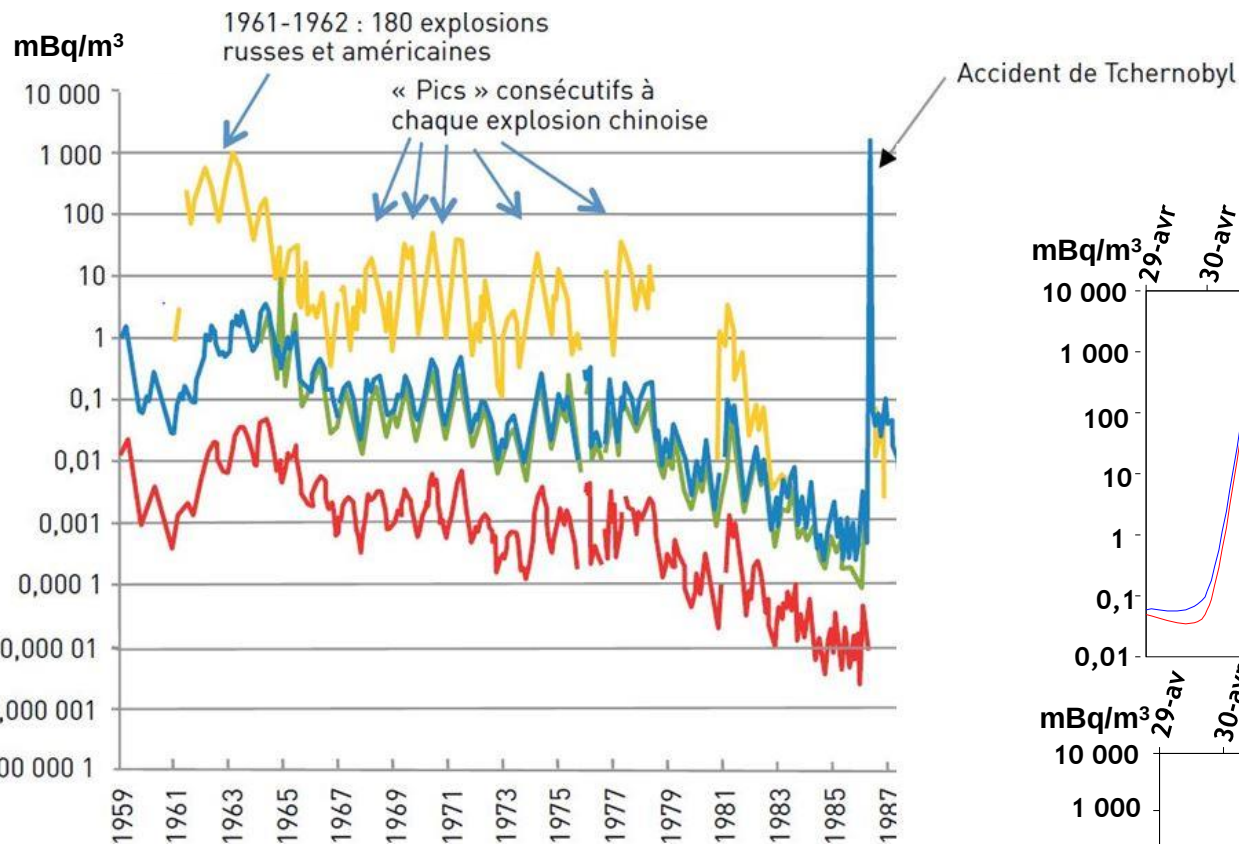
Dépôts de ^{90}Sr en NZ
 Bq/m^2



- Les retombées sur la Polynésie les plus importantes ont eu lieu entre 1962 et 1965 ; elles sont liées aux essais US sur Christmas Isl. en 1962 ; on distingue les retombées troposphériques (petit « pic » de 1962) des retombées stratosphériques (grand « pic » de 1964-1965)
- Les dépôts radioactifs consécutifs aux essais US et UK sur la Polynésie française ont été du même ordre que ceux mesurés par la Nouvelle-Zélande

Activités atmosphériques particulières

L'accident de Tchernobyl



Une « bouffée » sur 5 à 10j qui a concerné surtout sur l'Est du Pays

Activité max de ^{137}Cs mesurée à Verdun le 1^{er} mai : 7 Bq/m^3

Des activités en iode gazeux de l'ordre de 3 à 4 fois supérieures à celles de l'iode particulaire

La rémanence des retombés anciennes ; les accident d'Algésiras et de Fukushima



Retombées des essais
atmosphériques d'armes nucléaires

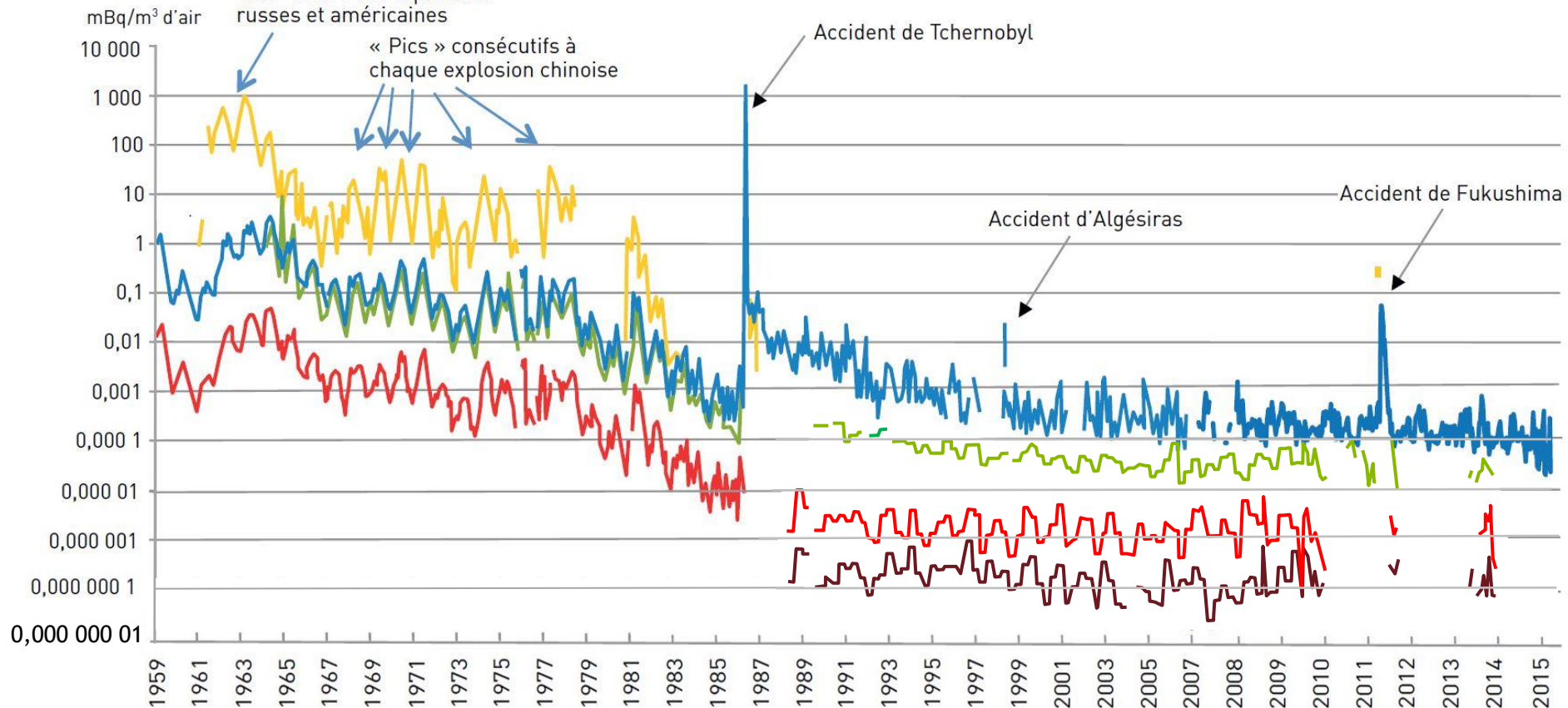
1961-1962 : 180 explosions
russes et américaines

« Pics » consécutifs à
chaque explosion chinoise

Accident de Tchernobyl

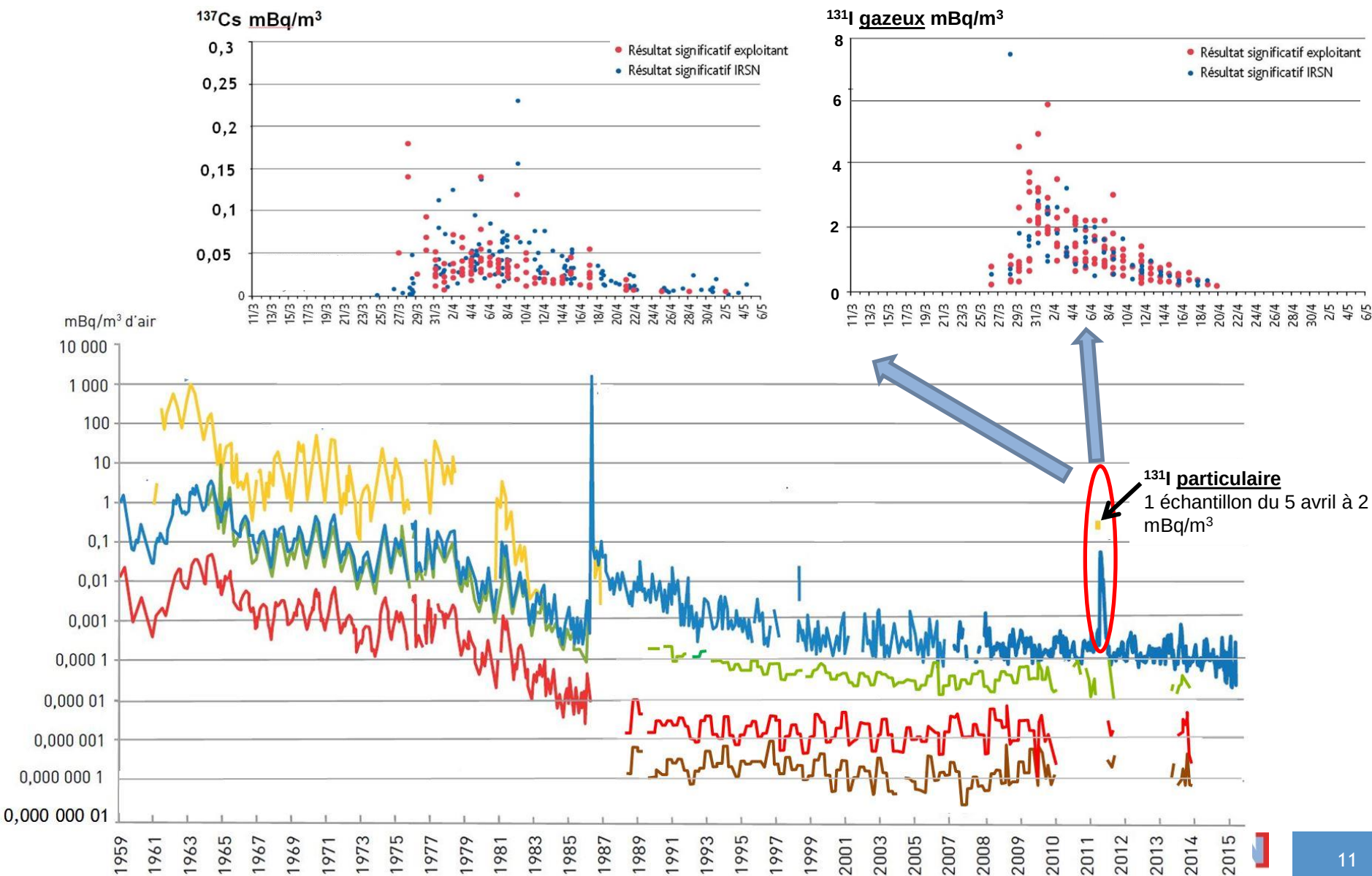
Accident d'Algésiras

Accident de Fukushima



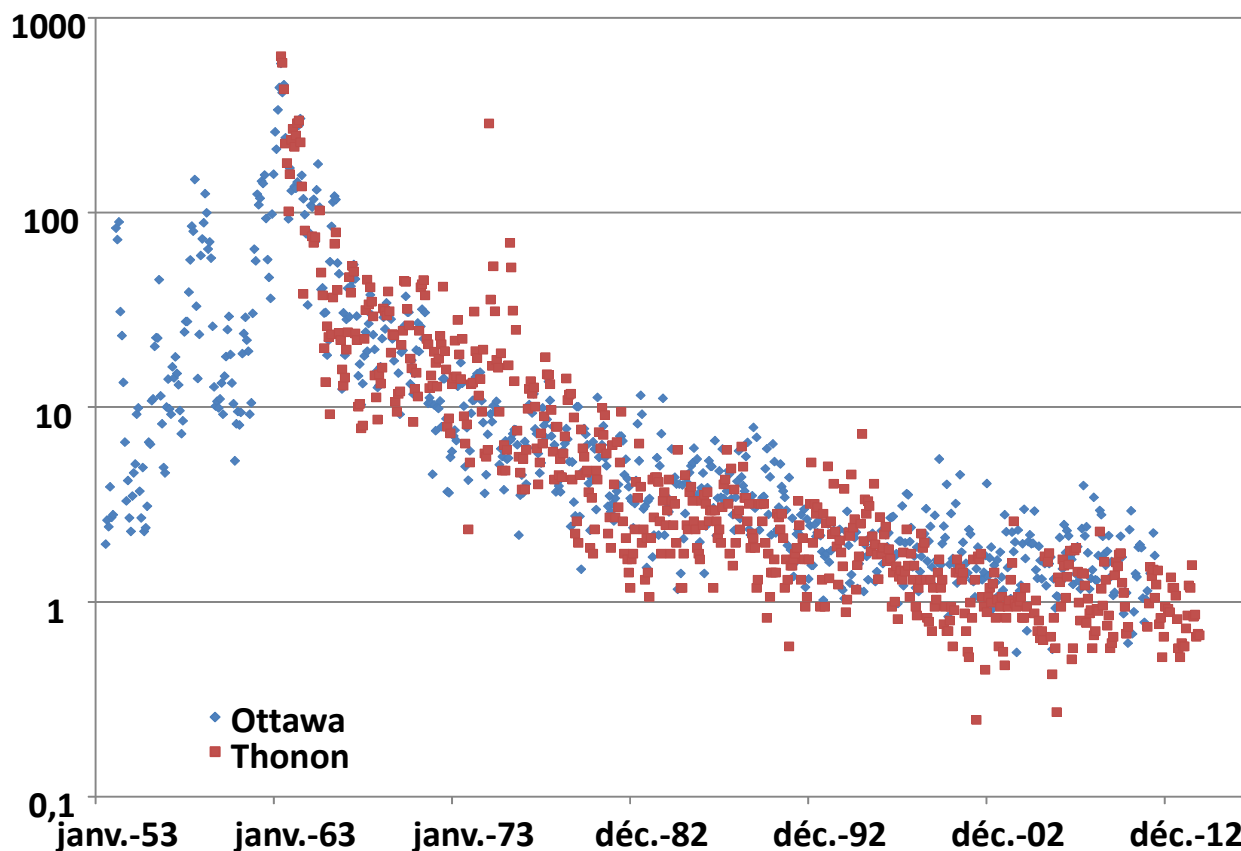
Les retombées en France de l'accident de Fukushima

Des activités en Cs et ^{131}I de l'ordre de 100 à 1000 fois inférieures à celles mesurées début mai 1986



Evolution de l'activité en tritium de l'eau atmosphérique, mesurée en France et au Canada de 1963 à 2015

Bq/L d'eau atmosphérique



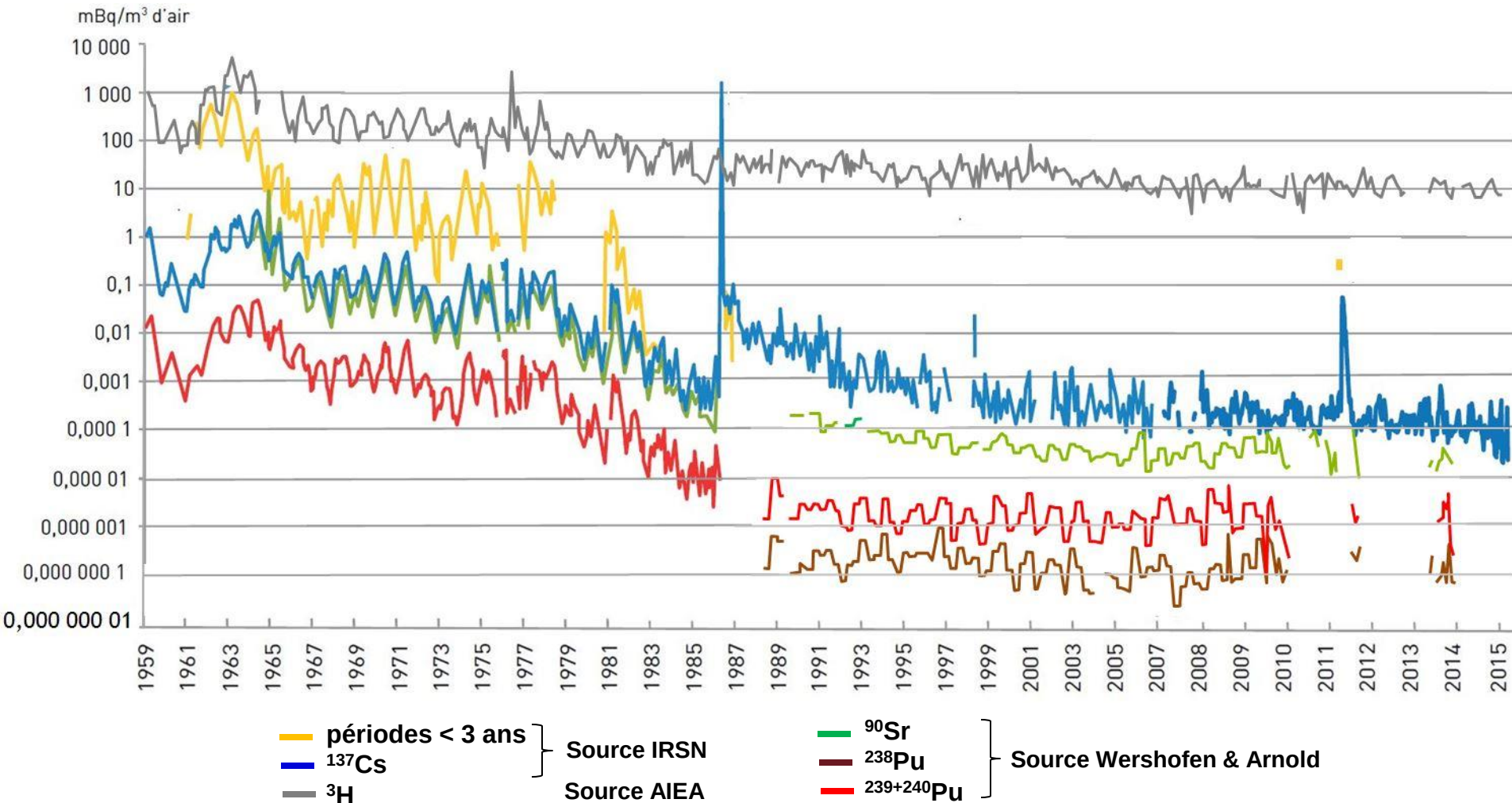
Un maximum à 600 Bq/L en 1963 au plus fort des retombées des essais nucléaires, juste avant le moratoire russo-américain

Une grande variabilité tout au long de la diminution régulière observée ensuite jusqu'au niveau actuel autour de 1 Bq/L

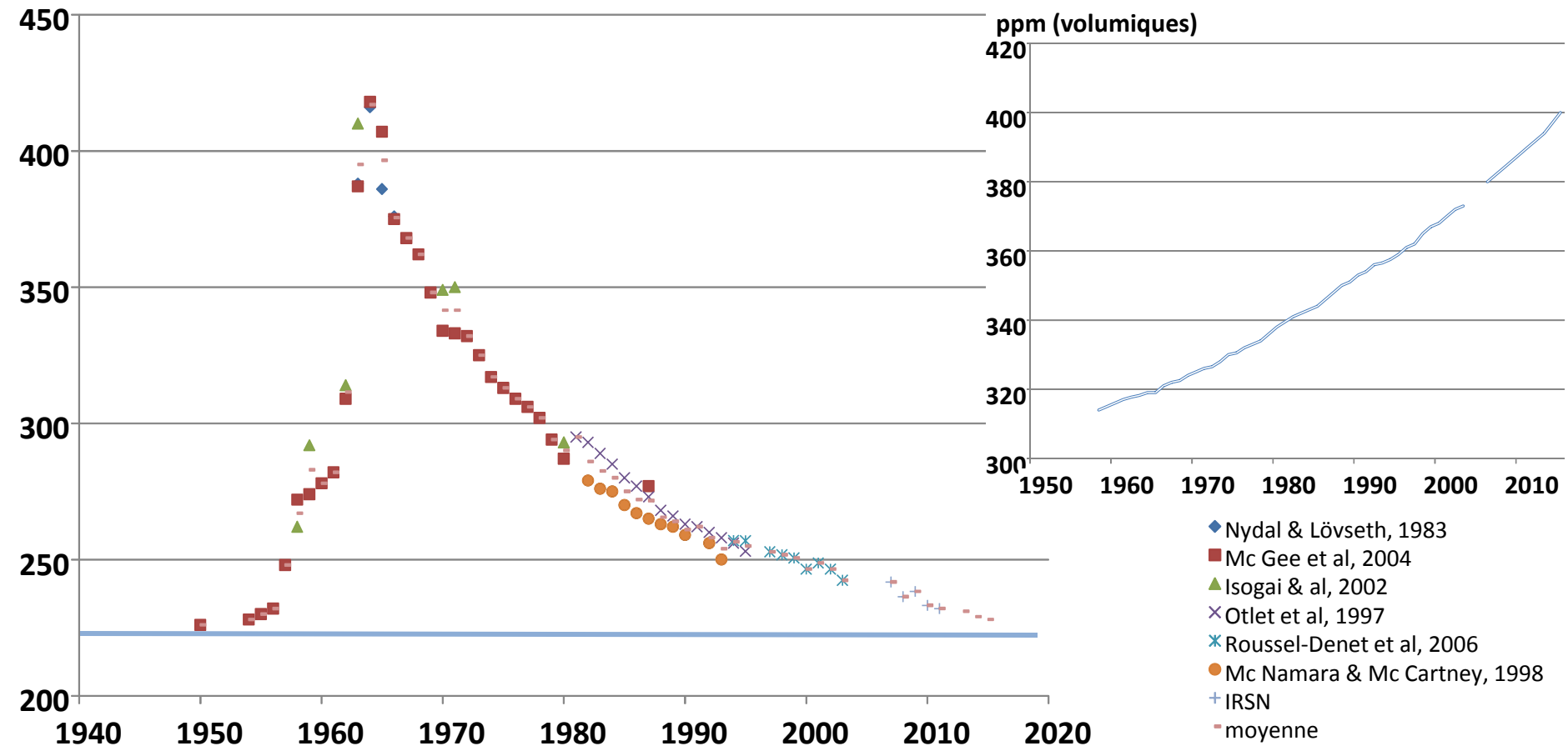
cas du tritium

Un maximum à 6 Bq/m³ en 1963, une diminution régulière ensuite jusqu'au niveau actuel autour de 0,01 Bq/m³

Une « épuration » du compartiment atmosphérique en tritium liée aux précipitations et à la captation par les végétaux, moins « efficace » que le dépôt des aérosols



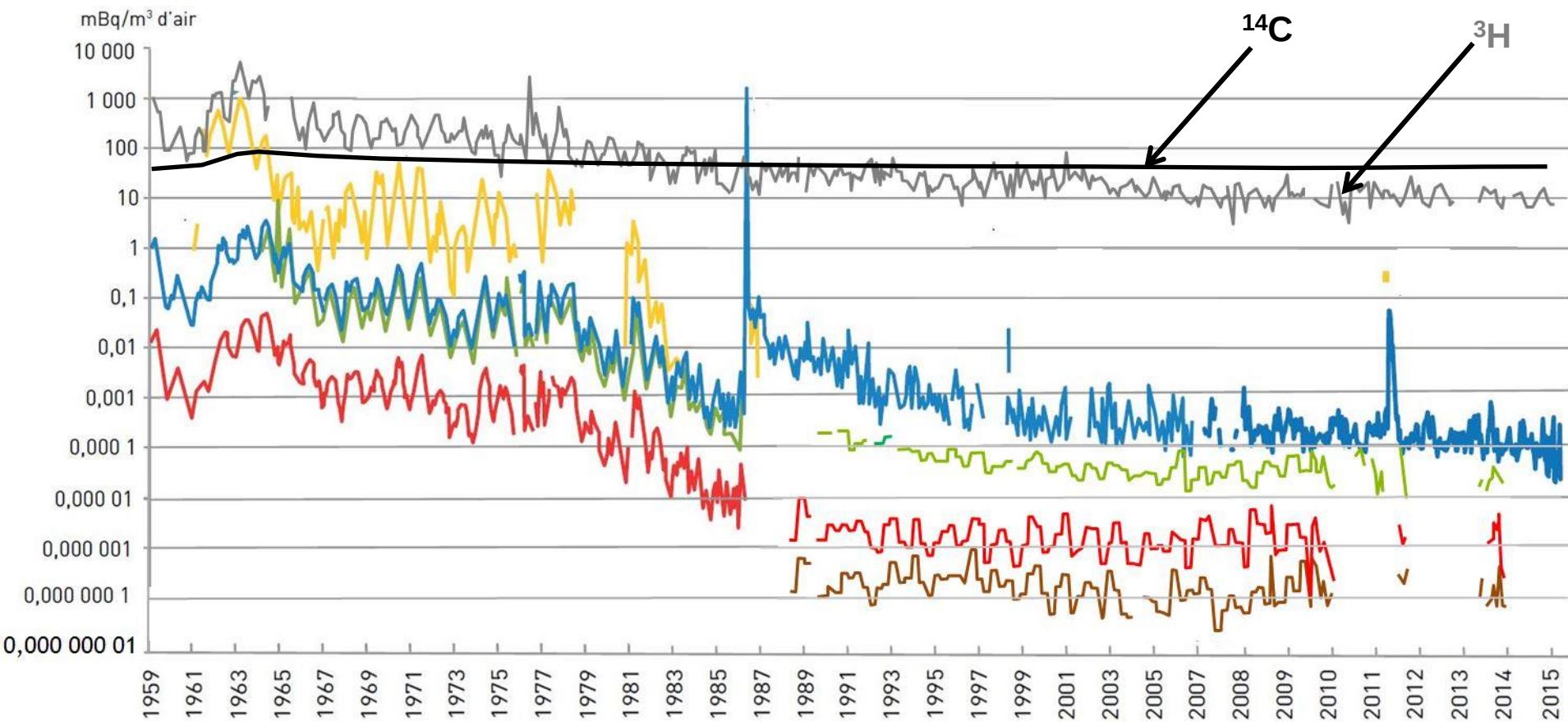
Activité spécifique (Bq/kg de carbone)



Une augmentation liée aux essais atmosphériques d'armes nucléaires, depuis une valeur de 226 Bq/kg de C. en 1950 (de 3-4% plus basse que celle de l'ère pré-industrielle), jusqu'à un maximum de 420 Bq/kg de C. en 1964

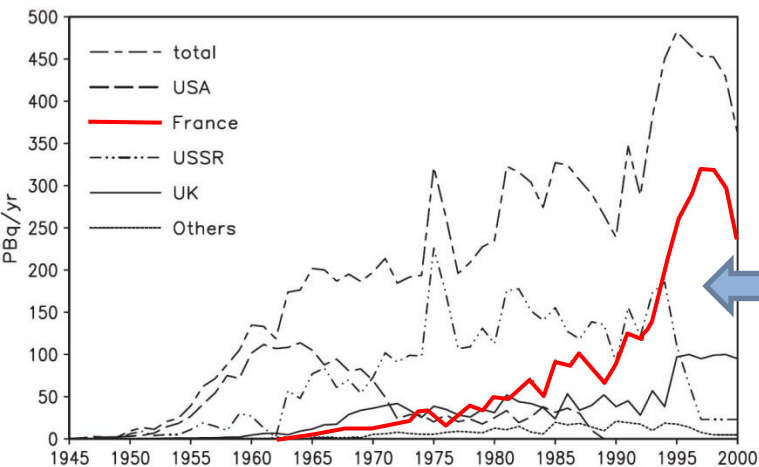
Une diminution depuis 1964, liée à l'augmentation du CO₂ d'origine fossile vers une valeur actuelle de 228-229 Bq/kg de C., proche de celle mesurée en 1950

Cas du carbone 14



Une très faible plage d'évolution comprise entre une activité de l'ordre de 40 mBq/m³ au début des années 50, le maximum de 70-75 mBq/m³ atteint en 1964, et le niveau de l'ordre de 50 mBq/m³, observé aujourd'hui

Le Krypton 85



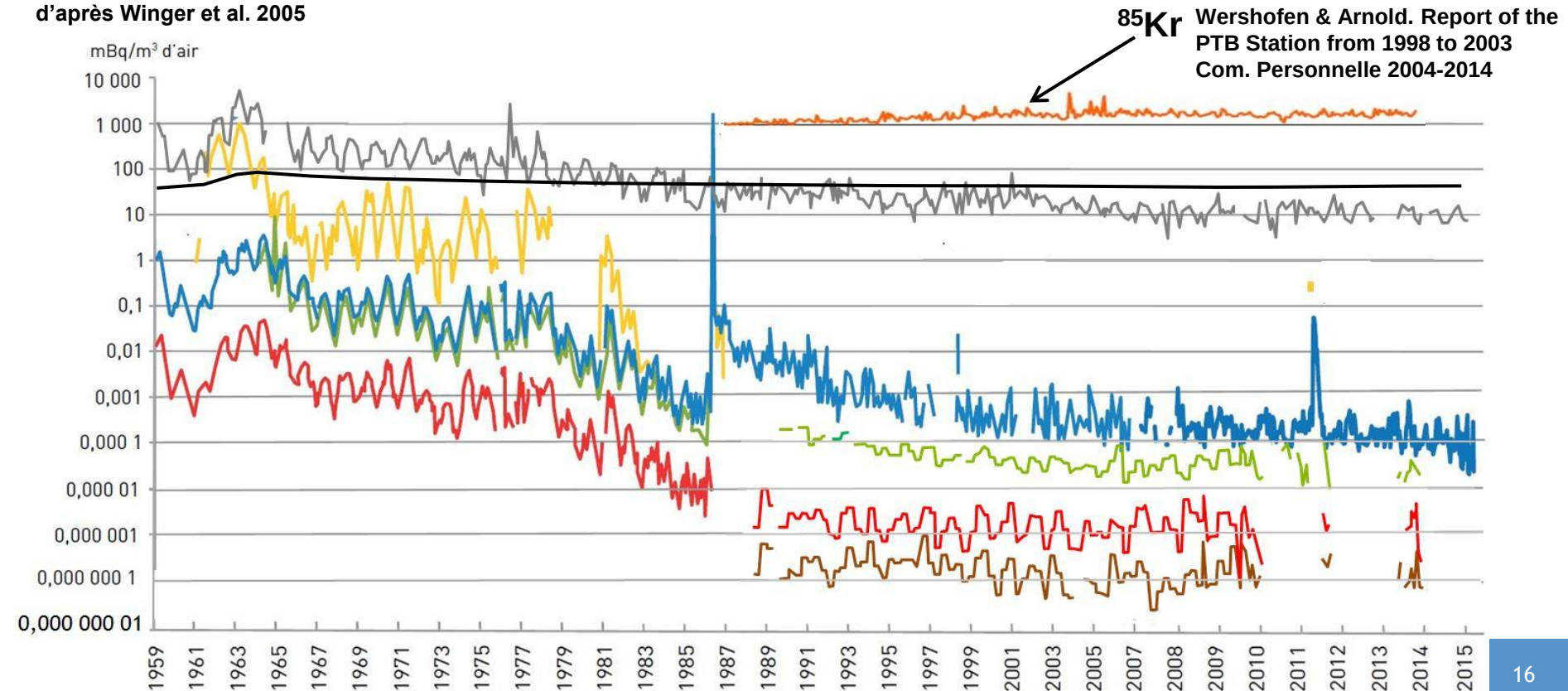
L'origine naturelle conduit à un inventaire constant de 0,09 PBq dans l'atmosphère

Les essais nucléaires ont produit 111 à 185 PBq dont il restait début 2000 de 13 à 20 PBq

Depuis les années 90, La Hague est le plus grand producteur mondial avec 250 à 300 PBq/an

Une augmentation annuelle de 30 mBq/m³ de 1976 à 2003 une relative stabilité depuis 2003

Production mondiale principalement liée au retraitement du combustible d'après Winger et al. 2005



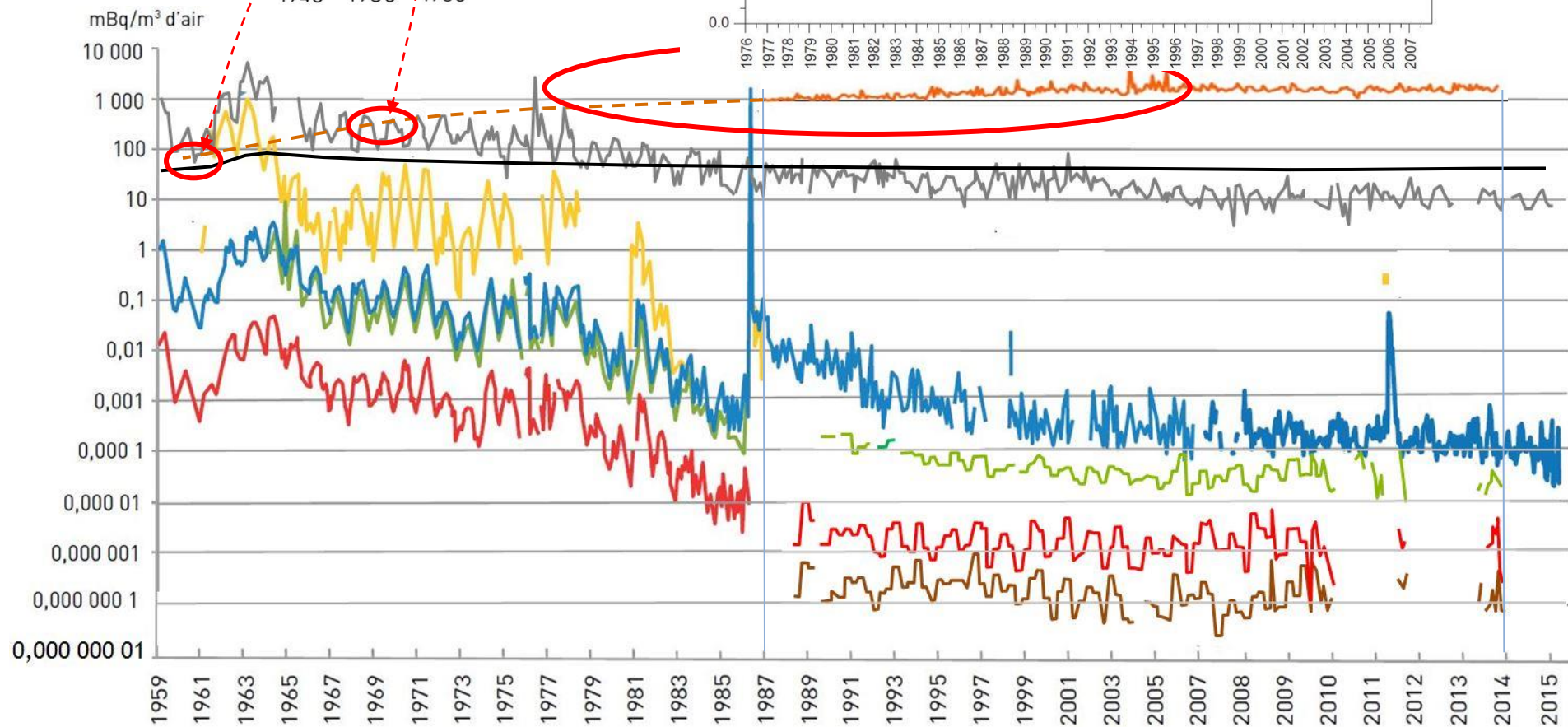
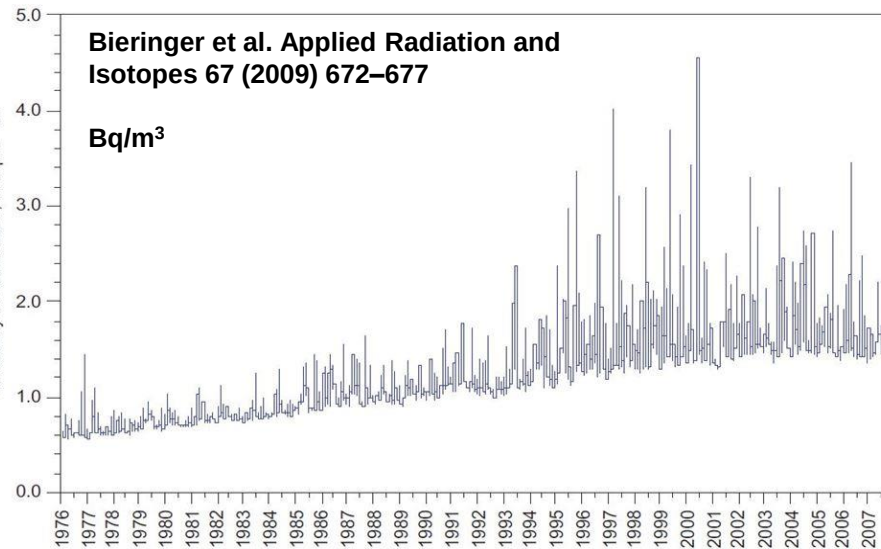
Le Krypton 85

WP Kirk
USA Nuclear Protection
Agency. 1972

Bieringer et al. Applied Radiation and
Isotopes 67 (2009) 672–677

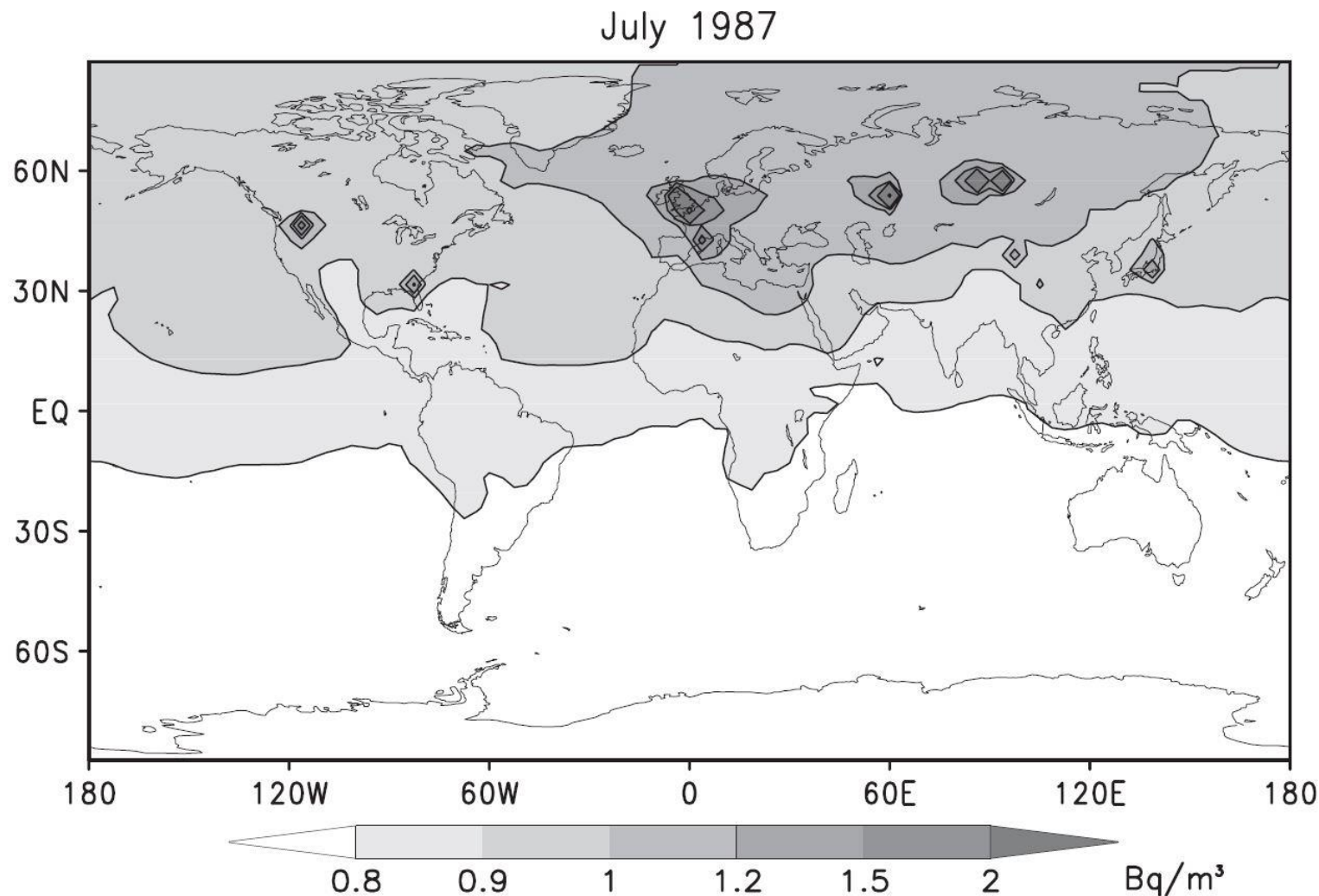
Bq/m³

⁸⁵Kr activity concentration, in Bq/m³ air



Modélisation de la dispersion planétaire du krypton 85

K. Winger et al. JER 2005

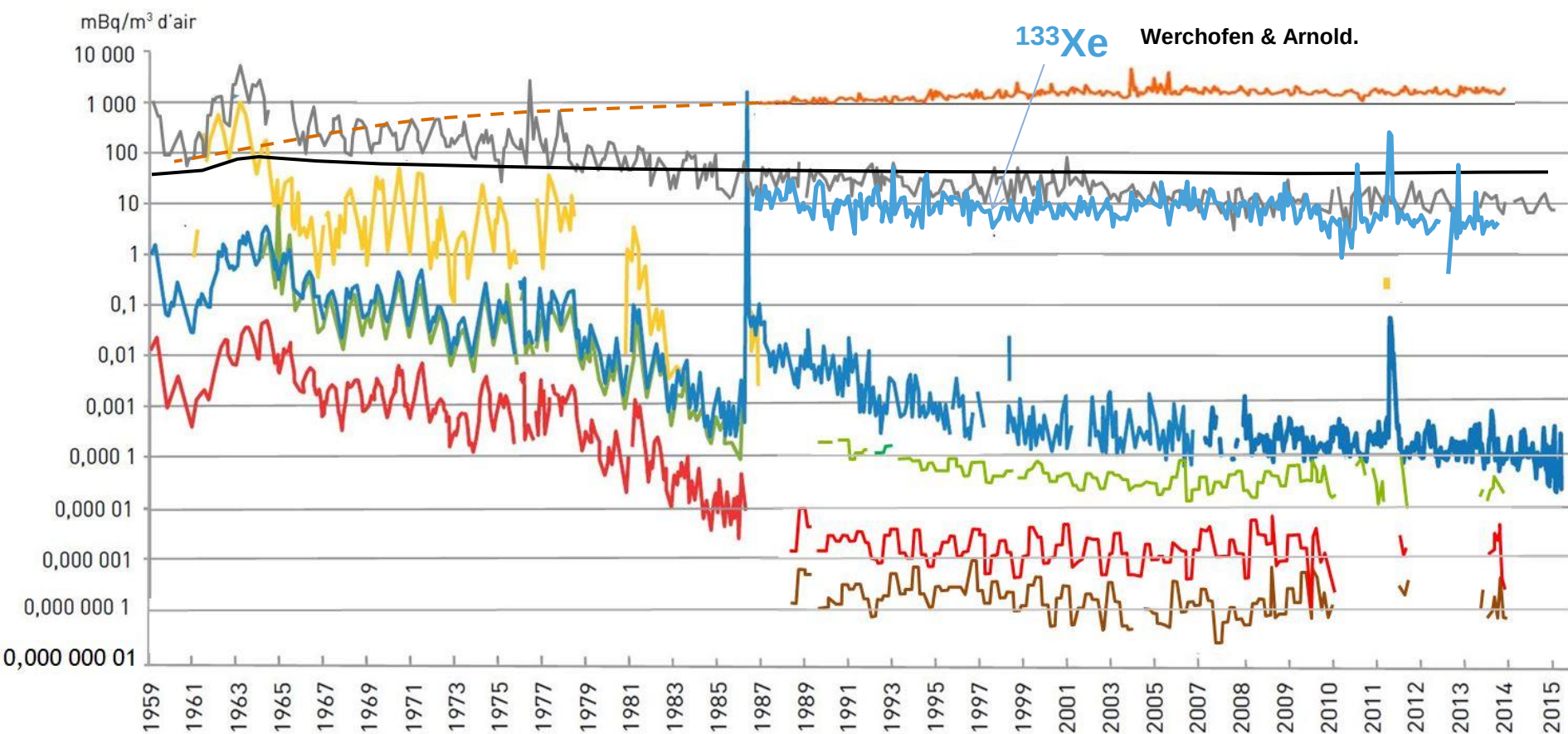


Le Xenon 133

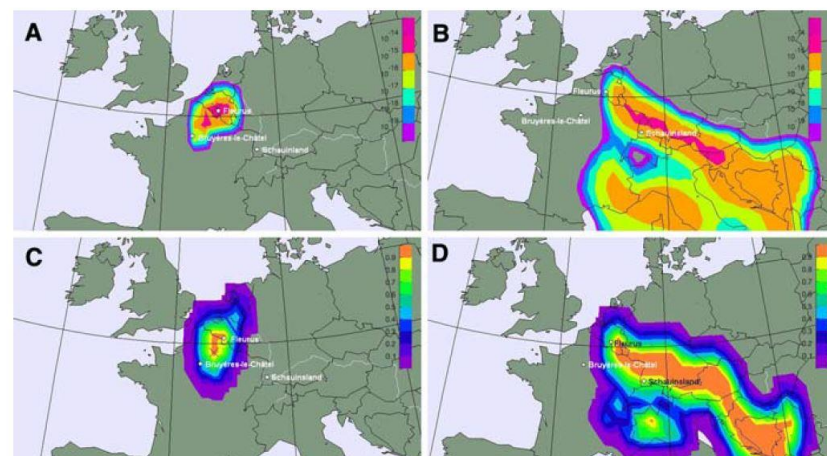
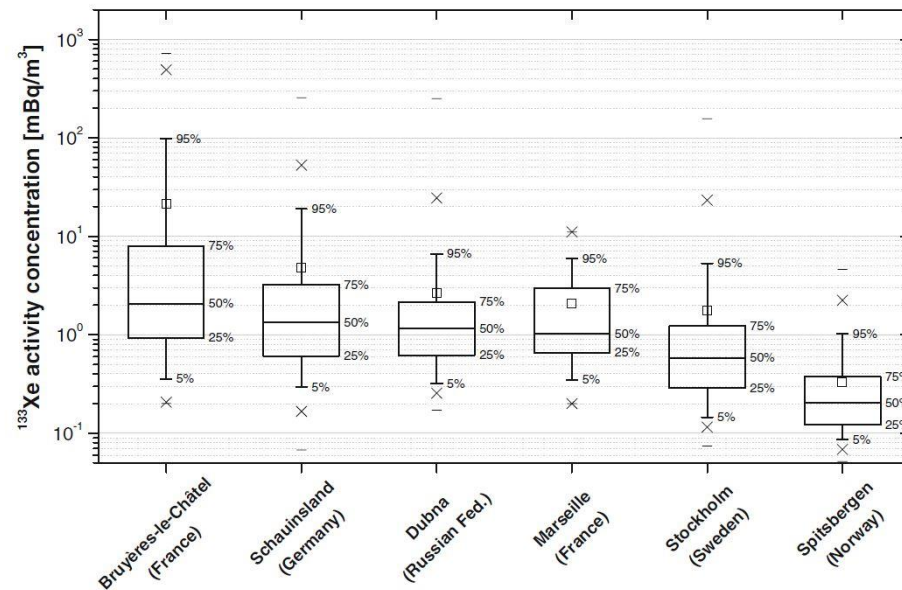
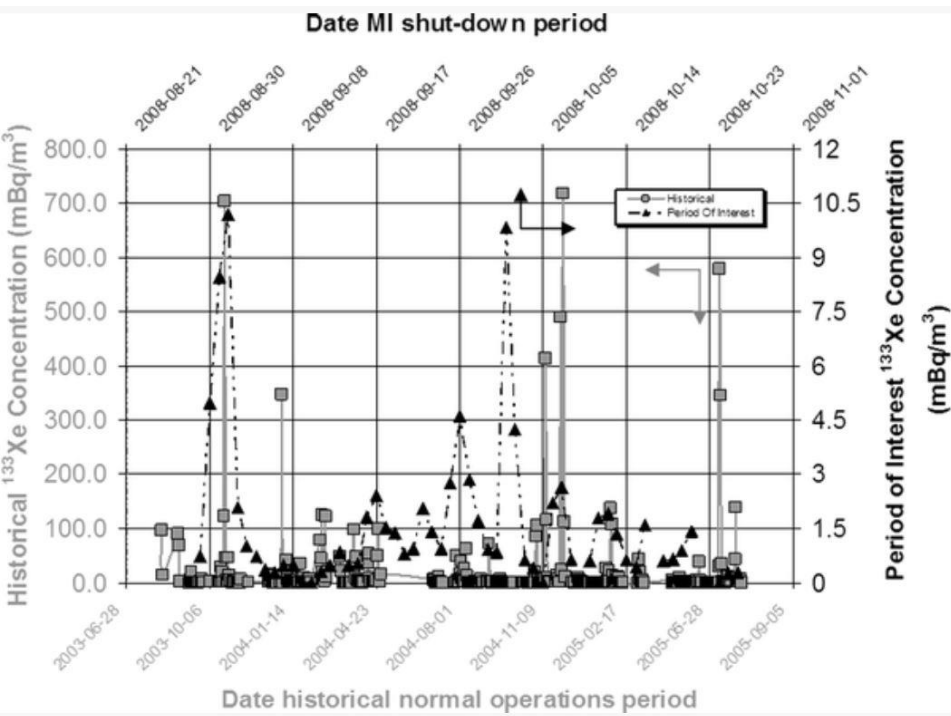
A l'échelle mondiale, le ^{133}Xe provient principalement de l'industrie radio-pharmaceutique à raison de $1,1 \cdot 10^{16}$ Bq/an contre seulement $7,5 \cdot 10^{14}$ Bq/an pour l'ensemble des réacteurs nucléaires

L'accident de Fukushima a libéré de l'ordre de $1,5 \cdot 10^{19}$ Bq de ^{133}Xe

Enfin, le ^{133}Xe est utilisé pour déceler les essais d'armes nucléaires au cours duquel il est produit à raison de 10^{16} Bq/ktonne



A Paris, des pics atteignant 700 mBq/m³ ont été observés (moyenne de 20 mBq/m³), notamment sous influence des rejets de l'IRE de Fleurus en Belgique (2^{ème} producteur radio-pharmaceutique mondial avec 16% du ⁹⁹Mo produit)

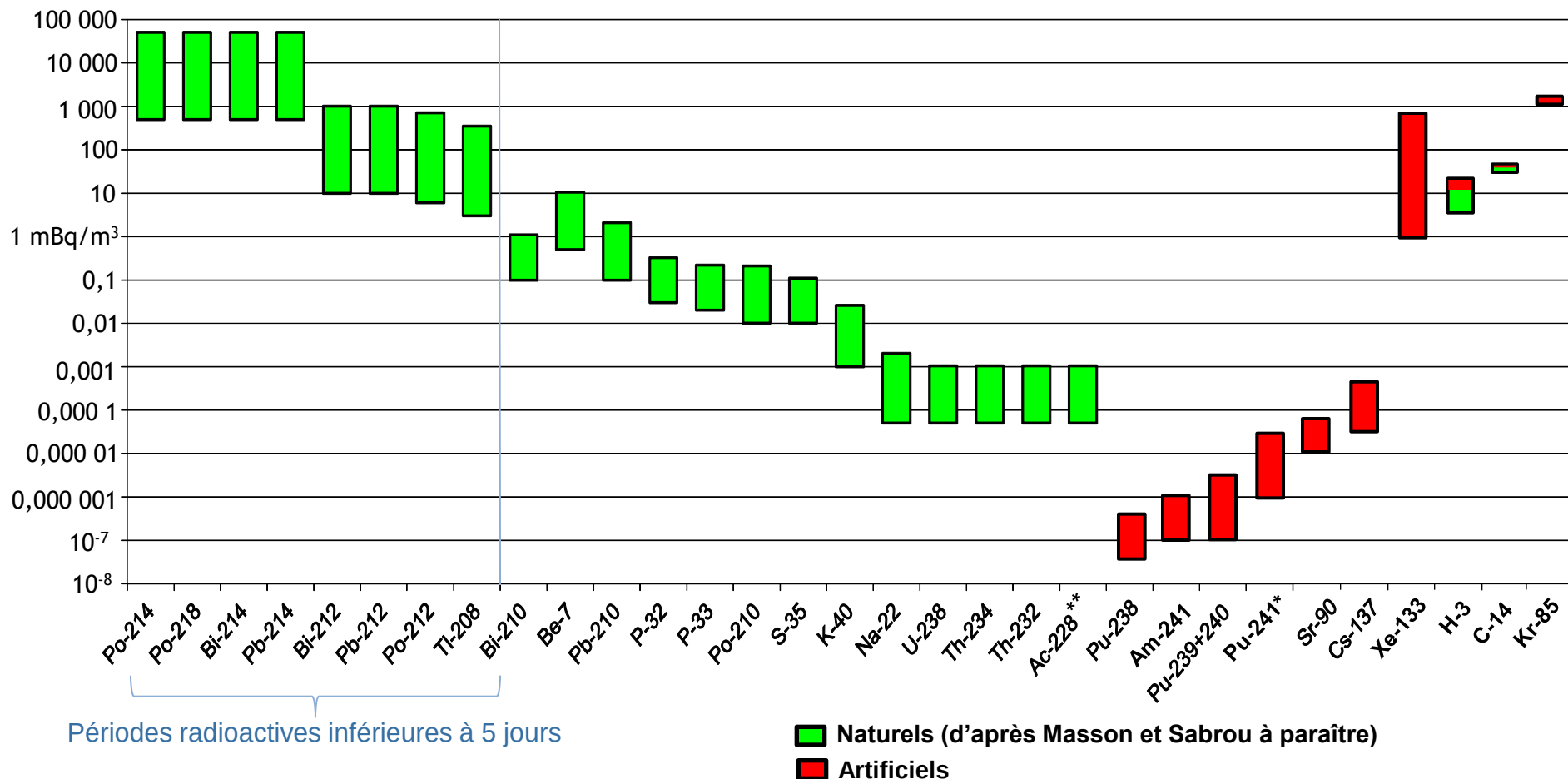


Hoffman et al. Changes in radioxenon observations in Canada and Europe during medical isotope production facility shut down in 2008. Radioanal Nucl Chem (2009) 282:767–772

Saey et al. Environmental Radioxenon Levels in Europe: a Comprehensive Overview. Pure Appl. Geophys. 167 (2010), 499–515

Situation actuelle des radionucléides naturels et artificiels dans l'air en France métropolitaine

Activités dans l'air en mBq/m³



*²⁴¹Pu, valeur théorique (aucune mesure disponible)

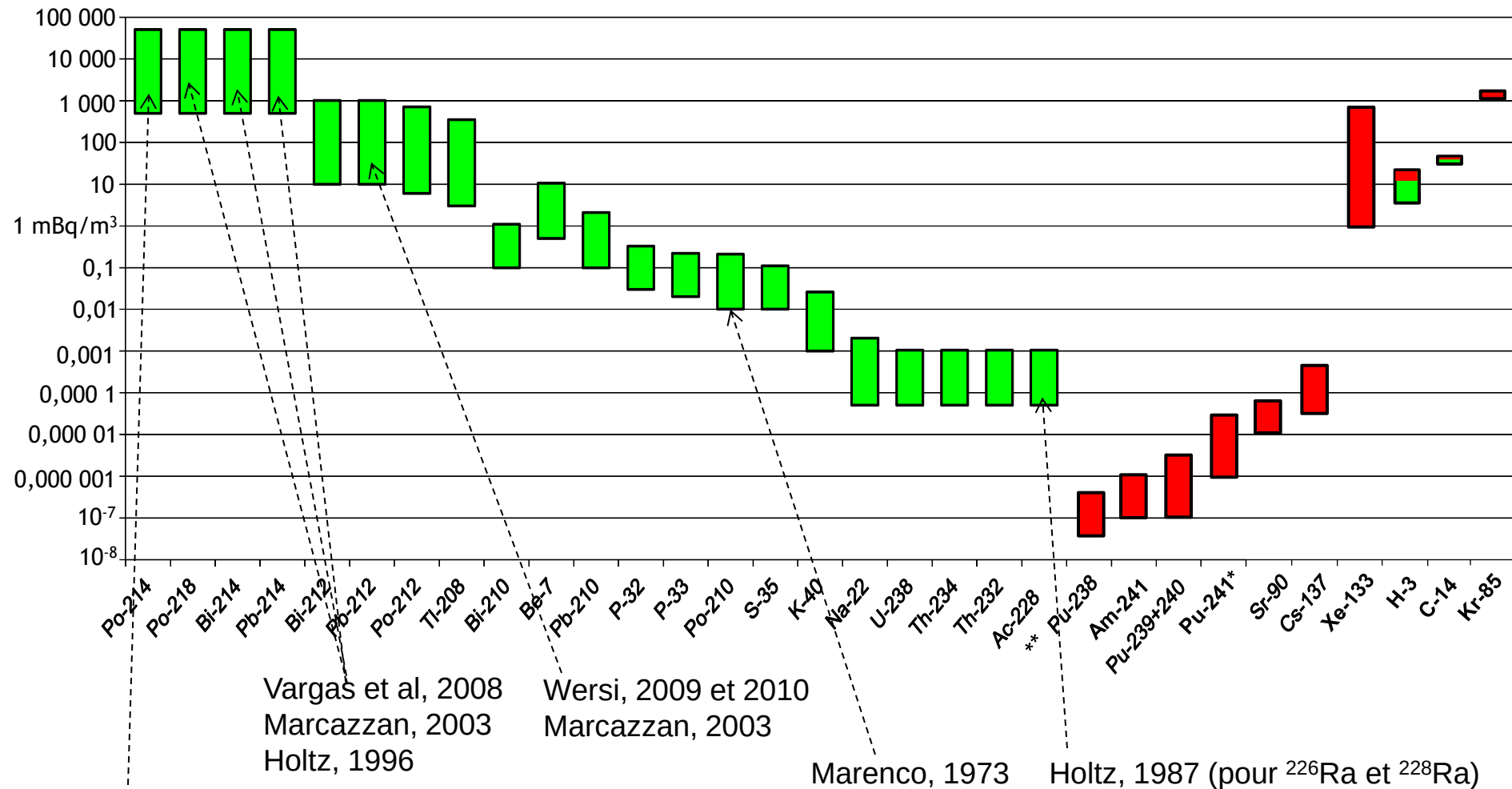
**²²⁸Ac, probablement représentatif des activités de ²²⁶Ra et ²²⁸Ra

Situation actuelle des radionucléides naturels et artificiels dans l'air en France métropolitaine

Activités dans l'air en mBq/m³

■ Naturels (d'après Masson et Sabroux à paraître)

■ Artificiels



Laguionie et al, 2015

Merci de votre attention